



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 198 06 290 C 2

61 Int. Cl. 7:
G 01 B 7/00
G 01 B 7/14
G 01 C 3/10
G 01 D 5/243

21 Aktenzeichen: 198 06 290.7-42
22 Anmeldetag: 16. 2. 1998
43 Offenlegungstag: 20. 8. 1998
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 17. 1. 2002

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

30 Unionspriorität:

32507/97 18. 02. 1997 JP
4852/98 13. 01. 1998 JP

73 Patentinhaber:

Japan System Development Co., Ltd., Tokushima,
JP; Akamatsu, Norio, Tokushima, JP

74 Vertreter:

HOFFMANN · EITL, 81925 München

72 Erfinder:

Akamatsu, Norio, Tokushima, JP; Kanaoka, Hideshi,
Tokushima, JP

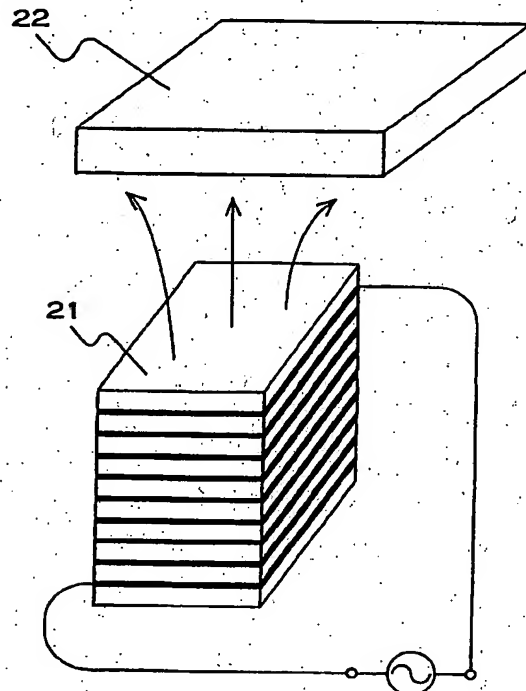
66 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 42 32 426 A1
DE 42 13 866 A1
DE 40 40 084 A1

54 Integrierte Entfernungsmessschaltung

57 Entfernungsmessschaltung, enthaltend:

- a) einen ebenen Induktor (41; 51; 101);
- b) einen Oszillator, der mit dem Induktor verbunden ist und dessen Frequenz sich gemäß einem Abstand eines gegenüber dem Induktor beabstandeten und leitfähigen Materials, zu dem die Entfernung gemessen werden soll, verändert;
- c) eine Auswerteschaltung zum Bestimmen der Frequenz des Oszillators;
- dadurch gekennzeichnet, dass
- d) die Auswerteschaltung als integrierte Schaltung zusammen mit dem Oszillator in einem Gehäuse aufgenommen ist;
- e) der Induktor (101) in dem oberen Abschnitt des Gehäuses angeordnet ist, und
- f) die Abmessungen des Induktors (101) durch die Abmessungen des Gehäuses begrenzt sind.



DE 198 06 290 C 2

BEST AVAILABLE COPY

DE 198 06 290 C 2

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine integrierte Entfernungsmessschaltung, welche die Position in bezug auf ein leitfähiges Material wie beispielsweise Metall exakt feststellen kann, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Eine derartige integrierte Entfernungsmessschaltung ist bekannt aus DE 42 13 866 A1. Insbesondere ist ein Positionssensor zum Erfassen linearer und rotatorischer Bewegungen mit hoher Auflösung beschrieben. Hierzu ist, eine Anzahl von Induktivitäten flächig in linearer Anordnung oder entlang eines Kreises aufgebracht. Sie dienen als frequenzbestimmende Elemente für mehrere Oszillatoren. Ihre Induktivitätswerte werden durch Anwesenheit von metallischen Gegenständen beeinflusst, wodurch gleichzeitig die Oszillationsfrequenzen beeinflusst werden. Unterschiedliche Werte für die Oszillationsfrequenzen dienen als Kennwert für das gesuchte Positionssignal.

[0003] Die Technik der Feststellung der Position in bezug auf ein leitfähiges Material wurde bei verschiedenen Industriemaschinen eingesetzt. Eine integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung lässt sich daher im gesamten Gebiet der industriellen Fertigung einsetzen. Wird die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung zur Messung der Position eines Roboterarms verwendet, so lässt sich eine äußerst exakte Steuerung des Roboterarms erzielen. Aus diesem Grund kann die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung bei sämtlichen Herstellungsvorgängen eingesetzt werden, die unter Verwendung eines Roboters ablaufen. Darüber hinaus lässt sich, wenn die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung in einem Positionsdetektor aufgenommen ist, eine äußerst genaue Druckmessung erzielen.

[0004] Allgemein unterteilt sich eine elektronische Schaltung in zwei Schaltungen, nämlich eine Schaltung aus konzentrierten idealen Elementen und eine verteilte Schaltung. Die Schaltung aus konzentrierten idealen Elementen wird durch eine normale Differentialgleichung beschrieben, und die verteilte Schaltung wird durch eine partielle Differentialgleichung beschrieben. Daher unterscheidet sich der mathematische Ausdruck für die Schaltung aus konzentrierten idealen Elementen vollständig von jenem für die verteilte Schaltung. Eine Schaltung aus konzentrierten idealen Elementen wird für beinahe sämtliche bekannten Einrichtungen zur Entfernungsmessung eingesetzt. Die verteilte Schaltung wird in der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet.

[0005] Bei der Schaltung aus konzentrierten idealen Elementen sind die Induktivität, die Kapazität und der Widerstand der Elemente zeitlich konstant, und ändern sich diese Werte nicht, selbst wenn sich die Frequenz ändert. Andererseits ist es bei der verteilten Schaltung möglich, daß sich deren Kapazität und Induktivität infolge des Skin-Effekts entsprechend ändern, wenn die Frequenz geändert wird. Die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung nutzt die Änderung der Schaltungsparameter der verteilten Schaltung. Nach Kenntnis des Erfinders der vorliegenden Erfindung gibt es mit Ausnahme der erfindungsgemäßen integrierten Entfernungsmessschaltung keine Einrichtung zur Messung der Entfernung, welche eine verteilte Schaltung verwendet.

[0006] Als Einrichtungen zur Messung der Entfernung gibt es im wesentlichen zwei Typen, wobei einerseits ein optisches Gerät und andererseits ein elektromagnetisches Gerät eingesetzt wird. Eine Einrichtung nach dem Stand der Technik zur Messung der Entfernung, welche die stärkeren

Ähnlichkeiten mit der vorliegenden Erfindung aufweist, setzt ein Verfahren zur elektromagnetischen Feststellung der Position ein. Zur elektromagnetischen Positionsbestimmung gibt es zwei Verfahren, nämlich das Verfahren, bei welchem die elektromagnetische Induktion verwendet wird, sowie das Verfahren der elektrostatischen Kopplung. Diese Verfahren verwenden die Schaltung aus konzentrierten idealen Elementen. Dagegen weist die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung eine verteilte Schaltung auf. Das Grundprinzip der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung unterscheidet sich daher grundsätzlich von dem im Stand der Technik eingesetzten Vorgehensweisen. Als nächstes wird eine Einrichtung nach dem Stand der Technik zur Messung der Entfernung beschrieben.

[0007] Die elektromagnetische Einrichtung nach dem Stand der Technik zur Messung der Entfernung verwendet einen Induktor, der durch dreidimensionale Wicklung von Drähten ausgebildet wird. Normalerweise wird der Induktor dadurch hergestellt, daß Kupferdrähte um ein magnetisches Material wie beispielsweise Ferrit herumgewickelt werden.

[0008] In Fig. 1 ist ein Beispiel für eine Einrichtung zur Messung der Entfernung dargestellt, die einen dreidimensional ausgebildeten Induktor verwendet. Der dreidimensional ausgebildete Induktor wird dadurch hergestellt, daß Spulen um ein magnetisches Material 21 herumgewickelt werden. In den Spulen fließt ein Wechselstrom. Nähert sich der Ferrit 22 dem dreidimensionalen Induktor, so ändert sich der in den Spulen fließende Strom. Die Entfernung zwischen dem Ferrit 22 und dem magnetischen Material 21 wird durch Messung der Änderung des Stroms festgestellt.

[0009] Die Einrichtung zur elektromagnetischen Entfernungsmessung unter Einsatz von Spulen weist folgende Nachteile auf:

- (1) Es ist eine relativ hohe elektrische Energie zur Erzeugung eines Magnetflusses infolge eines Stromflusses in den Spulen erforderlich, und daher ist eine große Stromversorgungsquelle erforderlich.
- (2) Das Ausmaß der Wärmeerzeugung wird groß, infolge des hohen Stroms, der in den Spulen fließt.
- (3) Durch den austretenden Magnetfluß wird Rauschen erzeugt. (4) Der Kostenaufwand ist hoch, da ein Vorgang zum Wickeln leitfähiger Drähte erforderlich ist.
- (5) Es ist unmöglich, die Einrichtung klein auszubilden, infolge der dreidimensionalen Wicklung der leitfähigen Drähte.
- (6) Die Meßgenauigkeit läßt sich nicht erhöhen, da die magnetische Schaltung ein magnetisches Material wie beispielsweise Ferrit enthält.
- (7) Es läßt sich keine Messung mit hoher Geschwindigkeit durchführen, infolge des Einsatzes eines niederfrequenten Stroms.

[0010] Bei der erfindungsgemäßen integrierten Entfernungsmessschaltung fließt ein Wechselstrom, der sich periodisch ändert, in einen zweidimensional angeordneten ebenen Induktor. Im allgemeinen gibt es zwei Arten zweidimensional angeordneter ebener Induktoren, nämlich den Mäandertyp und den Spiraltyp. In Fig. 2 ist ein Beispiel für einen zweidimensional angeordneten ebenen Induktor 1 des Mäandertyps dargestellt, der sich auf der Oberfläche eines Isolators 3 befindet. Der zweidimensional angeordnete ebene Induktor 1 wird unter Verwendung von leitfähigem Material wie beispielsweise Kupfer hergestellt. Der Isolator 3 wird normalerweise durch Leiterplattenmaterial gebildet, beispielsweise Papier, Phenol und Glas-Epoxidharz.

[0011] In Fig. 3 ist ein Beispiel für einen zweidimensional angeordneten ebenen Induktor 31 des Spiraltyps dargestellt, der sich auf der Oberfläche eines Isolators 33 befindet. Strom mit extrem hoher Frequenz fließt in den zweidimensional angeordneten ebenen Induktor, der bei der integrierten Entfernungsmesserschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung eingesetzt wird. Normalerweise wird Hochfrequenz von 30 MHz bis 1000 MHz verwendet. Bei Verwendung einer derartig extrem hohen Frequenz fließt der Strom nur auf der Oberfläche eines Leiters, jedoch nicht in dessen Innerem. Dieses Phänomen wird als "Skin-Effekt" bezeichnet. Da Hochfrequenz zur Messung der Entfernung mit hoher Geschwindigkeit verwendet wird, können infolge des Skin-Effekts nur derartige Effekte genutzt werden, die um die Oberfläche des ebenen Induktors herum auftreten. Nachstehend wird ein Vergleich zwischen leitfähigem Material durchgeführt, welches sich an die Oberfläche des zweidimensional angeordneten ebenen Induktors bzw. an die Oberfläche eines dreidimensional angeordneten Induktors annähert.

[0012] Bei einer Entfernungsmesseinrichtung, bei welcher das leitfähige Material nahe an sämtliche Oberflächen des dreidimensional angeordneten Induktors gebracht wird, wird der Aufbau der Einrichtung extrem kompliziert. Bei dem dreidimensional angeordneten Induktor kann daher nur eine der sechs Oberflächen genutzt werden, und lassen sich die Induktivitäten der Induktoren an den anderen Oberflächen nicht ändern. Dagegen läßt sich unter Verwendung eines einfachen Aufbaus erzielen, daß das leitfähige Material nahe an die Oberfläche des zweidimensional angeordneten ebenen Induktors gebracht wird. Wenn die Entfernung zwischen dem leitfähigen Material und dem ebenen Induktor verringert wird, gelangen diese beiden Teile in elektrostatische Kopplung. Es ist unmöglich, wirksam die gesamte elektrostatische Kopplung einzusetzen, die auf den Oberflächen des dreidimensional angeordneten Induktors erzeugt wird, jedoch möglich, diese wirksam auf der Oberfläche des zweidimensional angeordneten ebenen Induktors zu nutzen. Die Induktivität des Induktors wird durch den Ausgleich infolge des elektromagnetisch induzierten Stroms verringert. Die Änderungsrate der Induktivität des dreidimensional angeordneten Induktors ist niedriger als die Änderungsrate der Induktivität des zweidimensional angeordneten Induktors. Daher läßt sich unter Verwendung des zweidimensional angeordneten ebenen Induktors eine höhere Empfindlichkeit erzielen, als bei Verwendung des dreidimensional angeordneten Induktors. Dies führt dazu, daß eine Verringerung der Meßzeit dadurch erreicht werden kann, daß man einen Hochfrequenzstrom in dem zweidimensional angeordneten ebenen Induktor fließen läßt, und läßt sich eine äußerst exakte integrierte Entfernungsmesserschaltung dadurch realisieren, daß die elektrostatische Induktion wirksam genutzt wird, die auf der Oberfläche des zweidimensional angeordneten Induktors hervorgerufen wird.

[0013] Es gibt ein Verfahren zur optischen Feststellung der Position unter Verwendung eines optischen Gerätes wie beispielsweise eines Lasers. Die integrierte Entfernungsmesserschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung führt jedoch eine elektromagnetische Messung der Position durch, und setzt daher keine optische Vorgehensweise ein. Eine Einrichtung zur Messung der Entfernung mit einem optischen Gerät weist folgende Nachteile auf.

- (1) Eine erhebliche Menge an elektrischer Energie ist für ein Lichtzeugungselement und ein Lichtempfangselement erforderlich.
- (2) Die lichtaussendenden und lichtempfangenden Elemente führen zu einem komplizierten Aufbau, und

daher ist es schwierig, die Entfernungsmesseinrichtung klein auszubilden.

(3) Der Kostenaufwand ist hoch, da kostengünstiges Silizium nicht zur Herstellung der lichtaussendenden und lichtempfangenden Bauteile verwendet werden kann.

(4) Es ist schwierig, das von dem lichtaussendenden Element ausgesandte Licht exakt auf das Lichtempfangselement auftreffen zu lassen.

[0014] Bei einer Entfernungsmesseinrichtung, die den dreidimensional ausgebildeten Induktor verwendet, wird der magnetische Fluß benutzt, der von dem in dem Induktor fließenden Strom erzeugt wird. Nähert sich das leitfähige Material dem dreidimensional ausgebildeten Induktor, so geht der erzeugte Magnetfluß durch das leitfähige Material hindurch, und fließt ein Wirbelstrom in dem leitfähigen Material infolge des Effekts der elektromagnetischen Induktion. Durch diesen Effekt wird der dreidimensional ausgebildete Induktor elektromagnetisch an das leitfähige Material angekoppelt. Die Stärke der elektromagnetischen Kopplung zwischen dem dreidimensional ausgebildeten Induktor und dem leitfähigen Material ist umgekehrt proportional zur Entfernung zwischen diesen Teilen. Die Stärke der erzeugten elektromagnetischen Kopplung wird durch Messung des in dem Induktor fließenden Stroms gemessen. Daher kann die Entfernung zwischen dem dreidimensional ausgebildeten Induktor und dem leitfähigen Material auf der Grundlage der Ergebnisse der Messung des in dem Induktor fließenden Stroms gemessen werden. Der dreidimensional ausgebildete Induktor kann daher als integrierte Schaltung zur Messung der Entfernung den erzeugten Magnetfluß benutzen. Bei Verwendung des dreidimensionalen Induktors kann daher nur eine Oberfläche des dreidimensionalen Induktors, zu welcher der erzeugte Magnetfluß hingeht, als Einrichtung zur Messung der Entfernung verwendet werden, und die anderen Oberflächen können nicht benutzt werden. Daher ist ein hoher Strom zur Erzeugung eines starken Magnetflusses zur Erhöhung der Empfindlichkeit der Entfernungsmesseinrichtung erforderlich. Fließt jedoch ein hoher Strom in dem Induktor, so wird der elektrische Energieverbrauch groß. Bei einem hohen elektrischen Energieverbrauch weist die Entfernungsmesseinrichtung folgende Nachteile auf.

- (1) Es ist eine große Stromversorgung erforderlich.
- (2) Wird der elektrische Energieverbrauch groß, so ergibt sich eine starke Wärmezeugung, was zu einer hohen Temperatur führt. Dies kann sich so auswirken, daß elektronische Schaltungen in der Umgebung nicht normal arbeiten können.
- (3) Maschinen in der Umgebung werden durch das Rauschen beeinflusst, welches durch den starken Magnetfluß hervorgerufen wird.

[0015] Angesichts der voranstehenden Überlegungen sind eine Verringerung des in dem Induktor fließenden Stroms und eine Erhöhung der Empfindlichkeit dazu erforderlich, eine sehr genau Entfernungsmesseinrichtung herzustellen. Aus diesem Grund ist die elektrostatische Kopplung, die nur einen kleinen Strom erfordert, der elektromagnetischen Kopplung vorzuziehen, die zum wirksamen Arbeiten einen hohen Strom benötigt. Daher wird der Induktor zur Entfernungsmessung elektrostatisch an das leitfähige Material angekoppelt. Der Induktor zur Messung der Entfernung weist einen zweidimensionalen Aufbau auf, so daß die elektrostatische Kopplung wirksam genutzt werden kann. Wird das leitfähige Material nahe an den zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor gebracht, so nimmt die elektrostati-

sche Kopplung ein Maximum an, erhöht sich die Empfindlichkeit des ebenen Induktors zur Messung der Entfernung, und erreicht der Verbrauch an elektrischer Energie ein Minimum. Wenn der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor elektrostatisch an das leitfähige Material angekoppelt wird, werden ein leitfähiger Teil des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors und das leitfähige Material in der Auswirkung zu Kondensatoren. Der leitfähige Teil des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors wird daher eine Elektrode des verteilten Kondensators, und das leitfähige Material dessen andere Elektrode. Im allgemeinen wird, wenn die Frequenz des in einer Schaltung fließenden Stroms erhöht wird, der in dem Kondensator fließende Strom erhöht, und der in dem ebenen Induktor fließende Strom verringert. Wenn die Entfernung zwischen dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor und dem leitfähigen Material gering ist, wird die Induktivität des zweidimensional ausgebildeten Induktors entsprechend verringert, infolge der erhöhten Kapazität des verteilten Kondensators. Daher steigt die Frequenz eines Oszillators an, nämlich wegen der verringerten Induktion. Die Änderung der Entfernung zwischen dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor und dem leitfähigen Material kann daher durch Feststellung der Frequenzänderung gemessen werden.

[0016] Die Entfernungsmesseinrichtung ist meist im Inneren eines Roboters oder einer Maschine im Gebrauch aufgenommen. Die Anforderungen, welche die Entfernungsmesseinrichtung erfüllen muß, sind nachstehend aufgeführt.

- (1) Der Aufbau ist einfach.
- (2) Der Kostenaufwand ist gering.
- (3) Die Abmessungen sind gering, und das Gewicht ist ebenfalls gering, infolge eines beschränkten Raums für die Anbringung.
- (4) Die Meßempfindlichkeit ist hoch.
- (5) Eine Messung bei hoher Geschwindigkeit ist möglich.
- (6) Es ist möglich, eine integrierte Schaltung auszubilden.
- (7) Das von der integrierten Entfernungsmessschaltung erzeugte Rauschen ist gering.
- (8) Der elektrische Energieverbrauch ist gering.

[0017] Ein technisches Problem der vorliegenden Erfindung besteht demnach in der Bereitstellung einer Entfernungsmesseinrichtung, welche die voranstehend geschilderten Anforderungen erfüllt.

[0018] Dieses technische Problem wird erfindungsgemäß durch eine integrierte Entfernungsmessschaltung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst, und einem in einem Gehäuse aufgenommenen Oszillator sowie einem ebenen Induktor auf, der auf der Oberfläche des den Oszillator aufnehmenden Gehäuses angeordnet ist, und der an den Oszillator angeschlossen ist, um so die Frequenz des Oszillators festzulegen. Die Abmessungen des Induktors sind durch die Abmessungen des Gehäuses begrenzt. Nähert sich ein leitfähiges Material an die Oberfläche des Gehäuses der integrierten Schaltung an, wird die Frequenz des Oszillators über den ebenen Induktor geändert. Die Annäherungsentfernung des leitfähigen Materials kann durch Messung der Frequenzänderung festgestellt werden. Das leitfähige Material ist meist ein Metall, jedoch kann die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung die Annäherungsentfernung auch eines nichtmetallischen leitfähigen Materials messen, beispielsweise einer leitfähigen Flüssigkeit.

[0019] Bei der integrierten Entfernungsmessschaltung ist die Oszillatorfrequenz normalerweise größer als 30 MHz,

und liegt vorzugsweise zwischen 30 MHz und 1000 MHz. [0020] Beim Vergleich einer Einrichtung nach dem Stand der Technik, die einen dreidimensional ausgebildeten Induktor verwendet, mit der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung, bei welcher der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor auf der Oberfläche des Gehäuses der integrierten Schaltung angeordnet ist, stellen sich folgende Merkmale der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung heraus.

(1) Der ebene Induktor der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung kann unter Einsatz eines Druckverfahrens hergestellt werden. Daher läßt sich eine Massenproduktion des ebenen Induktors bei niedrigem Kostenaufwand erreichen. Im Gegensatz hierzu ist zur Herstellung des dreidimensional ausgebildeten Induktors der Vorgang des Wickelns leitfähiger Drähte erforderlich, was zu hohen Kosten führt.

(2) Der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor kann kleine Abmessungen aufweisen und dünn auf der Oberfläche des Gehäuses der integrierten Schaltung angeordnet sein, infolge seiner ebenen Form. Aus diesem Grund kann die gesamte integrierte Entfernungsmessschaltung klein ausgebildet werden. Im Gegensatz hierzu ist es schwierig, den dreidimensional ausgebildeten Induktor klein auszubilden.

(3) Der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor kann wirksam die elektrostatische Kopplung nutzen, infolge seines ebenen Aufbaus. Daher kann der Verbrauch an elektrischer Energie verringert werden. Im Gegensatz hierzu verwendet der dreidimensional ausgebildete Induktor die elektromagnetische Induktion statt der elektrostatischen Kopplung, da die Fläche klein ist, die zur Nutzung der elektrostatischen Kopplung zur Verfügung stünde. Dies führt zu einem hohen Verbrauch an elektrischer Energie.

(4) In der Praxis kann die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung industriell in weitem Maße eingesetzt werden, da ein leitfähiges Material wie beispielsweise Metall für zahlreiche Industriemaschinen verwendet wird.

(5) Die elektrostatische Kopplung, die zwischen dem ebenen Induktor und dem leitfähigen Material hervorgerufen wird, ist stark und wirkt auf kurze Entfernung, da sich der ebene Induktor in zwei Dimensionen erstreckt. Die Induktivität L des ebenen Induktors ändert sich daher entsprechend, und läßt sich daher wirksam nutzen. Daraus ergibt sich eine hohe Meßempfindlichkeit.

(6) Die integrierte Entfernungsmessschaltung läßt sich in der produzierenden Industrie in weitem Ausmaß einsetzen, infolge ihres einfachen Aufbaus, ihres geringen Gewichtes und des niedrigen Kostenaufwandes.

(7) Es ist möglich, eine hohe Auflösung bei der Messung der Entfernung zu erzielen, da sich der ebene Induktor in einer Ebene befindet.

[0021] Die Erfindung wird nachstehend anhand zeichnerisch dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert, aus welchen weitere Vorteile und Merkmale hervorgehen. Es zeigt:

[0022] Fig. 1 eine Schrägansicht einer Entfernungsmesseinrichtung nach dem Stand der Technik, die einen Induktor verwendet, der durch dreidimensionale Wicklung leitfähiger Drähte hergestellt wird;

[0023] Fig. 2 eine Schrägansicht eines zweidimensional

ausgebildeten ebenen Induktors des Mäandertyps;
 [0024] Fig. 3 eine Schrägansicht eines dreidimensional ausgebildeten ebenen Induktors des Spiraltyps;
 [0025] Fig. 4 eine Schrägansicht eines ebenen Induktors, der auf der oberen Oberfläche einer integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehen ist;
 [0026] Fig. 5 eine Schrägansicht mit der Darstellung eines Zustands, welchem sich leitfähiges Material an einen ebenen Induktor annähert, der auf einem Isolator auf der oberen Oberfläche der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung angeordnet ist;
 [0027] Fig. 6 eine Querschnittsansicht eines ebenen Induktors der integrierten Entfernungsmessschaltung und des leitfähigen Materials in Fig. 5 in Richtung der Y-Achse;
 [0028] Fig. 7 eine Querschnittsansicht mit einer Darstellung eines Zustands, in welchem sich leitfähiges Material an einen ebenen Induktor der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß Fig. 6 annähert;
 [0029] Fig. 8 eine Querschnittsansicht eines ebenen Induktors der integrierten Entfernungsmessschaltung und des leitfähigen Materials in Fig. 5 in Richtung der X-Achse;
 [0030] Fig. 9 eine schematische Darstellung des Stroms, der durch eine elektrische Ladung erzeugt wird, welche elektrostatisch in einem ebenen Induktor der integrierten Entfernungsmessschaltung und in dem leitfähigen Material von Fig. 8 induziert wird;
 [0031] Fig. 10 eine Querschnittsansicht in Richtung der Y-Achse in einem Fall, in welchem ein Isolator einen ebenen Induktor der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung abdeckt;
 [0032] Fig. 11 eine Querschnittsansicht eines Falls, in welchem sich leitfähiges Material in Horizontalrichtung in bezug auf den ebenen Induktor der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß Fig. 5 bewegt;
 [0033] Fig. 12 eine Querschnittsansicht eines Falles, in welchem sich das leitfähige Material in Fig. 11 weiter in Horizontalrichtung in bezug auf einen ebenen Induktor bewegt, und den ebenen Induktor in starkem Ausmaß überlappt;
 [0034] Fig. 13 ein Diagramm der Beziehung zwischen der Entfernung d und einer Frequenz f eines Oszillators in der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung;
 [0035] Fig. 14 ein Blockschaltbild eines Beispiels für die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung;
 [0036] Fig. 15 ein Schaltbild eines Beispiels für einen Verstärker, der in der integrierten Entfernungsmessschaltung von Fig. 14 verwendet wird;
 [0037] Fig. 16 ein Schaltbild eines Beispiels für ein Rückkopplungsnetzwerk, welches in der integrierten Entfernungsmessschaltung in Fig. 14 verwendet wird;
 [0038] Fig. 17 eine Querschnittsansicht eines Beispiels für den Aufbau eines Stiftes bei der ersten Ausführungsform der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung;
 [0039] Fig. 18 ein Schaltbild eines Beispiels für einen Oszillator, der in einem elektrischen Stift in Fig. 17 aufgenommen ist;
 [0040] Fig. 19 ein Blockschaltbild zur Erläuterung der Feststellung der Position einer Positionsmessspitze, die in dem Stift in Fig. 17 aufgenommen ist;
 [0041] Fig. 20 ein Diagramm der Beziehung zwischen der Entfernung x gegenüber einem Bezugspunkt leitfähigen Materials und einer Frequenz s eines Oszillators in der inte-

grierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung; und

[0042] Fig. 21 eine Querschnittsansicht des Aufbaus eines filmdicken Meßgerätes gemäß der zweiten Ausführungsform der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0043] Bei der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung ist die Meßeempfindlichkeit vorzugsweise gleichmäßig, wenn die Induktivität L des ebenen Induktors klein ist. Der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor mit kleiner Induktivität befindet sich auf der oberen Oberfläche des Gehäuses der integrierten Schaltung. Eines der Merkmale der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor auf der oberen Oberfläche des Gehäuses der integrierten Schaltung angeordnet ist.

[0044] Wie aus Fig. 4 hervorgeht, ist ein zweidimensional ausgebildeter ebener Induktor 41 auf einem Isolator auf der oberen Oberfläche einer integrierten Schaltung 42 angeordnet. Die integrierte Schaltung 42 ist mit einem Gehäuse aus beispielsweise Kunststoff und Keramik abgedeckt. Der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor 41 ist auf diesen Isolatoren angeordnet. Eine Anschlußklemme des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors 41 ist mit einem Stift 412 der integrierten Schaltung verbunden. Bei der vorliegenden Beschreibung sind die X-, Y-, und Z-Achse wie in Fig. 4 gezeigt festgelegt, um den Fluß des Stroms zu erläutern, der in dem mäanderförmigen ebenen Induktor fließt.

[0045] In Fig. 5 ist eine integrierte Entfernungsmessschaltung gezeigt, bei welcher ein Isolator 53 auf der Oberfläche einer integrierten Schaltung 52 vorgesehen ist, und ein zweidimensional ausgebildeter ebener Induktor 51 auf dem Isolator 53 angeordnet ist. Darüber hinaus zeigt Fig. 5 einen Zustand, in welchem sich leitfähiges Material 510 an den zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 annähert. Die Entfernung zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 wird durch das Bezugszeichen d bezeichnet.

[0046] Nähert sich das leitfähige Material 510 dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51, so ändert sich der in dem zweidimensional ausgebildeten Induktor 51 fließende Strom. Die Entfernung zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 kann dadurch festgestellt werden, daß die Frequenzänderung eines Oszillators gemessen wird, der in der integrierten Schaltung enthalten ist.

[0047] Fig. 6 zeigt die elektrostatische Induktion, die hervorgerufen wird, wenn die Entfernung zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten Induktor 51 groß ist. Fig. 6 zeigt eine Querschnittsansicht in Richtung der Y-Achse und ist gegenüber Fig. 5 umgekehrt. In Fig. 6 bezeichnet ein durchgezogener Pfeil den Magnetfluß, der durch den Strom hervorgerufen wird; und ein gestrichelter Pfeil die elektrostatische Induktion. Da der in dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 fließende Strom klein ist, ist der erzeugte Magnetfluß gering. Die elektrostatische Induktion wird auf der Oberfläche des leitfähigen Materials 510 dadurch hervorgerufen, daß ein Strom in dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 fließt. Wie aus Fig. 6 hervorgeht, ist bei großer Entfernung d der Kapazitätswert des verteilten Kondensators 511, der zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional angeordneten ebenen Induktor 51 hervorgerufen wird, infolge des niedrigen elektrostatischen Induktionseffektes klein. Der Magnetfluß wird dadurch erzeugt, daß ein Strom in dem zweidimensional ausgebildeten

ebenen Induktor 51 fließt, jedoch ist die elektromagnetische Kopplung infolge der großen Entfernung d gering.

[0048] Fig. 7 zeigt die elektrostatische Induktion, die hervorgerufen wird, wenn die Entfernung d zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 gering ist. In Fig. 7 zeigt ein durchgezogener Pfeil den Magnetfluß an, der durch Strom hervorgerufen wird, und zeigt ein gestrichelter Pfeil die elektrostatische Induktion an. Wie aus Fig. 7 hervorgeht, ist bei geringfügiger Entfernung d der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor 51 elektrostatisch und stark an das leitfähige Material 510 angekoppelt. Da die elektrostatische Induktion groß ist, ist der Kapazitätswert des verteilten Kondensators 511 groß, der zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 hervorgerufen wird.

[0049] In Fig. 8 ist der verteilte Kondensator 511 dargestellt, der zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 hervorgerufen wird. Auf der X-Achse ist die Richtung des Stroms aufgetragen, der in dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 fließt. Fig. 8 zeigt eine Querschnittsansicht in Richtung der X-Achse. An den zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51, der sich auf dem Isolator 53 befindet, wird eine Spannung angelegt, und daher eine elektrische Ladung hervorgerufen. Die erzeugte elektrische Ladung ist durch die Vorzeichen Plus (+) und Minus (-) bezeichnet. Wenn die Entfernung d zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 gering ist, wird eine starke elektrostatische Induktion erzeugt, und dann wird die Kapazität des verteilten Kondensators 511 groß, der zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 ausgebildet wird. Infolge des Effekts der elektrostatischen Induktion wird eine elektrische Ladung mit entgegengesetztem Vorzeichen im Vergleich zu jener in dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 in dem leitfähigen Material 510 induziert. Die elektrische Ladung, die in dem leitfähigen Material 510 induziert wird, wird durch die Symbole (+) und Minus (-) bezeichnet.

[0050] Fig. 9 ist eine Querschnittsansicht des leitfähigen Materials 510 und des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors 51 in Richtung der X-Achse. Der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor 51 befindet sich auf dem Isolator 53. In dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 fließt ein Strom i. Infolge des Effekts der elektrostatischen Induktion wird eine elektrische Ladung mit entgegengesetzten Vorzeichen im Vergleich zu jener des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors 51 in dem leitfähigen Material 510 induziert. Der in dem leitfähigen Material 510 fließende Strom ist mit dem Bezugszeichen I bezeichnet. Die Richtung des Stroms I ist entgegengesetzt zu jener des Stroms i. Ist die Entfernung d gering, so ist der in dem leitfähigen Material fließende Strom I hoch. Der in dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 fließende Strom i erzeugt einen Magnetfluß in den umgebenden Raum hinein, und daher tritt eine elektromagnetische Kopplung zwischen dem erzeugten Magnetfluß und dem Strom auf, was zu einer Selbstinduktivität führt. Die Selbstinduktivität entspricht der Induktivität L des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors 51.

[0051] Andererseits erzeugt auch der Strom I, der in dem leitfähigen Material 510 fließt, einen Magnetfluß in den umgebenden Raum hinein. Da die Richtung des Stroms I entgegengesetzt jener des Stroms i ist, ist die Richtung des von dem Strom I erzeugten Magnetflusses entgegengesetzt jener des durch den Strom i erzeugten Magnetflusses. Der von dem Strom i erzeugte Magnetfluß wird daher durch den von

dem Strom I erzeugten Magnetfluß ausgeglichen, so daß der resultierende Magnetfluß gering ist. Daher wird die Induktivität L des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors 51 entsprechend durch das leitfähige Material 510 verringert, welches sich an den zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 annähert.

[0052] Wenn nämlich die Entfernung d zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 verringert wird, verringert sich entsprechend die Induktivität L. Im Gegensatz hierzu wird, wenn die Entfernung d zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 zunimmt, die Induktivität L entsprechend vergrößert. Die Änderung der Entfernung d kann daher durch Messung der Änderung der Induktivität L als Frequenzänderung des Oszillators festgestellt werden. Bei der integrierten Entfernungsmessschaltung der vorliegenden Erfindung kann die Entfernung d zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 dadurch festgestellt werden, daß die Frequenz f unter Verwendung des Frequenzzählers 7 gemessen wird, da sich die Frequenz f des Oszillators ändert, wenn sich die Induktivität L ändert.

[0053] Im allgemeinen wird, wenn die Frequenz der Oszillatorschaltung erhöht wird, die aus einem Induktor und einem Kondensator besteht, der in dem Induktor fließende Strom verringert, und der in dem Kondensator fließende Strom erhöht. Bei der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung wird der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor 51 verwendet. Wenn sich daher das leitfähige Material 510 dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 nähert, wird das leitfähige Material 510 elektrostatisch an den zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 gekoppelt. Wie in Fig. 8 gezeigt, wird der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor 51 zu einer Elektrode des verteilten Kondensators 511, und wird das leitfähige Material 510 zu dessen anderer Elektrode, und daher sind diese beiden Elektroden elektrostatisch miteinander gekoppelt. Wie aus Fig. 9 hervorgeht, wird bei einer Verringerung der Entfernung zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 die Kapazität des verteilten Kondensators 511 erhöht. Wenn daher die Frequenz des in der Schaltung fließenden Stromes hoch ist, wird der in dem leitfähigen Material 510 über den verteilten Kondensator 511 fließende Strom erhöht. Der Magnetfluß, der von dem in dem leitfähigen Material 510 fließenden Strom erzeugt wird, und der durch den in den ebenen Induktor 51 fließenden Strom erzeugte Magnetfluß sind elektromagnetisch gekoppelt und gleichen einander aus. Daher wird die Induktivität des zweidimensional ausgebildeten Induktors 51 entsprechend verringert. Die Frequenz f des Oszillators, der durch die Induktivität L des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors 51 und die Kapazität C eines idealen Kondensators gebildet wird, läßt sich durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$f \times f \times L \times C = (1/2\pi) \times (1/2\pi) \quad (1)$$

[0054] Wie aus der voranstehenden Gleichung (1) hervorgeht, wird, wenn die Induktivität L des ebenen Induktors 51 verringert wird, die Frequenz f des Oszillators erhöht. Die Frequenz f des Oszillators kann unter Verwendung des Frequenzzählers gemessen werden. Nähert sich das leitfähige Material 510 an den zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 an, und verringert sich die Entfernung zwischen diesen Teilen, wird der in dem leitfähigen Material 510 fließende Strom erhöht, da die Kapazität des verteilten Kondensators erhöht wird.

sators 511 erhöht wird. Daher wird die elektromagnetische Kopplung verstärkt. Die Selbstinduktivität L des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors 51 verringert sich entsprechend, durch den Ausgleichseffekt bei dem Strom i und dem entgegengesetzten Strom I . Daher kann die Änderung der Entfernung zwischen dem leitfähigen Material 510 und den zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 durch Messung der Änderung der Frequenz f des Oszillators festgestellt werden.

[0055] Fig. 10 ist eine Querschnittsansicht einer integrierten Schaltung 102 in Richtung der Y-Achse. Ein Stift 1012 der integrierten Schaltung ist im unteren Abschnitt der integrierten Schaltung 102 vorgesehen und auf übliche Weise mit einer Leiterplatte (einer gedruckten Schaltung) verbunden. Der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor 101 ist in dem oberen Abschnitt der integrierten Schaltung 102 angeordnet. Der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor 101 ist durch den Isolator 103 abgedeckt. Da der in dieser Figur dargestellte ebene Induktor 101 durch den Isolator 103 abgedeckt ist, gelangt das leitfähige Material 1010 mit dem ebenen Induktor 101 nicht in direkten Kontakt, wenn sich das leitfähige Material 1010 dem ebenen Induktor 101 nähert.

[0056] Nähert sich das leitfähige Material 1010 dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 101, so wird beinahe derselbe elektromagnetische Effekt wie im Falle eines nicht vorhandenen Isolators 103 hervorgerufen, da der Isolator 103 so dünn ist. Die vorliegende Erfindung umfaßt daher einen Fall, in welchem der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor 101 mit einem Isolator 103 abgedeckt ist.

[0057] Als nächstes wird ein Fall betrachtet, in welchem sich das leitfähige Material parallel zum zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor bewegt. Wie aus Fig. 11 hervorgeht, ändert sich der Überlappungsbereich zwischen dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 und dem leitfähigen Material 510, wenn sich das leitfähige Material 510 parallel zum zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 in Richtung der Y-Achse bewegt. Im Überlappbereich S zwischen dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 und dem leitfähigen Material 510 tritt eine elektrostatische Kopplung des leitfähigen Materials 510 zum zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 auf. Daher wird der verteilte Kondensator 511 in den Überlappbereich S ausgebildet, fließt der Strom in dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten Induktor 51 und wird dann das leitfähige Material 510 elektrostatisch mit dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor gekoppelt. Dies führt dazu, daß sich die Induktivität L des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors 51 entsprechend ändert.

[0058] Wenn daher, wie in Fig. 12 gezeigt, der Überlappungsbereich S zunimmt, erhöht sich die Frequenz f des Oszillators entsprechend Gleichung (1). Die Änderung des Überlappungsbereiches S zwischen dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 und dem leitfähigen Material 510 kann daher durch Messung der Änderung der Frequenz f des Oszillators festgestellt werden. Eine Änderung der Position des leitfähigen Materials 510 und des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors 51 in bezug aufeinander kann daher durch Messung der Änderung der Frequenz f des Oszillators festgestellt werden. Selbst in einem Fall, in welchem sich der Überlappungsbereich S dadurch ändert, daß die Position des leitfähigen Materials 510 und des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors 51 in bezug aufeinander geändert wird, ändert sich daher im wesentlichen die Entfernung zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen In-

duktor 51. Die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung läßt sich daher in einem Fall einsetzen, in welchem sich der Überlappungsbereich ändert.

[0059] Wie in Fig. 5 gezeigt, wird die Entfernung zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 durch das Bezugszeichen d bezeichnet. Die Beziehung zwischen der Frequenz f des Oszillators und der Entfernung d ist in Fig. 13 dargestellt. Aus dieser Figur geht hervor, daß bei einer Entfernung d von weniger als 3 mm bis 4 mm die Frequenz f des Oszillators extrem zunimmt. Wenn die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem Roboter oder einem Positionsdetektor eingesetzt wird, läßt sich eine hohe Messempfindlichkeit dadurch erzielen, daß sie in einem Bereich eingesetzt wird, in welchem sich die Frequenz des Oszillators in bezug auf eine sehr kleine Änderung der Entfernung d stark ändert.

[0060] Wenn die Entfernung zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 verringert wird, verringert sich die Induktivität L des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors 51 entsprechend und erhöht sich entsprechend die Frequenz f des Oszillators, wie dies in Fig. 13 gezeigt ist. Bei der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung kann daher die Entfernung d zwischen dem leitfähigen Material 510 und dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 dadurch exakt festgestellt werden, daß die Frequenz f des Oszillators mit dem Frequenzzähler gemessen wird.

[0061] Bei einer Einrichtung, die einen Frequenzzähler zur Messung der Frequenz der integrierten Entfernungsmessschaltung verwendet, kann das digitale Ausgangssignal der integrierten Entfernungsmessschaltung mit dem Frequenzzähler gemessen werden. Wenn daher ein Meßobjekt bewegt wird, an welchem der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor 51 der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung befestigt ist, kann die Bewegungsentfernung des Objekts digital erfaßt werden. Wenn das Meßobjekt mit daran angebrachtem leitfähigen Material 510 bewegt wird, kann darüber hinaus die Bewegungsentfernung des Objekts digital gemessen werden.

[0062] Da die Entfernung dadurch gemessen wird, daß die Signale von der integrierten Entfernungsmessschaltung durch einen Digitalcomputer verarbeitet werden, können im allgemeinen die Signale, die von der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung abgegeben werden, direkt unter Verwendung des Digitalsignals in den Computer eingegeben werden. Eine Entfernungsmesseinrichtung nach dem Stand der Technik, die ein Analogsignal ausgibt, erfordert einen Quantisierungsvorgang unter Verwendung von A/D-Wandlern über eine Verstärkerschaltung, um die Meßwerte in den Computer einzugeben.

[0063] Beim Vergleich einer digitalen Entfernungsmesseinrichtung und einer analogen Entfernungsmesseinrichtung weist die digitale Entfernungsmesseinrichtung folgende Merkmale auf.

- (1) Weder ein Verstärker noch ein A/D-Wandler sind bei der digitalen Meßeinrichtung erforderlich, und daher ergeben sich keine hohen Gesamtkosten bei Digitalsystemen.
- (2) Die Digitalsignale, die von der integrierten Entfernungsmessschaltung ausgegeben werden, werden nicht durch Rauschen beeinträchtigt, und daher sind die Meßwerte stabil und verlässlich, selbst bei einer langen Ausgangsleitung.
- (3) Sämtliche integrierten Entfernungsmessschaltun-

gen können so ausgelegt sein, daß sie Digitalschaltungen sind, und daher läßt sich die Implementierung einer derartigen integrierten Entfernungsmessschaltung einfach realisieren.

[0064] Fig. 14 zeigt ein Blockschaltbild für ein Beispiel für die integrierte Entfernungsmessschaltung, welche den zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 verwendet. Ein diskreter Kondensator 54 ist in Reihenschaltung angeschlossen, um eine LC-Schaltung 58 auszubilden. Ein Signal von der LC-Schaltung 58 wird einem Verstärker 55 zugeführt. Von dem Verstärker 55 ausgegebene Signale werden in ein Rückkopplungsnetzwerk 56 und einen Frequenzzähler 57 eingegeben. Ein von dem Rückkopplungsnetzwerk 56 ausgegebenes Signal wird mit positiver Rückkopplung den zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 51 zugeführt, so daß ein Oszillator 59 entsteht. Das Signal der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung wird von dem Frequenzzähler 57 ausgegeben.

[0065] Fig. 15 zeigt ein Beispiel für den Verstärker 55 der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß Fig. 14. Der Verstärker 55 weist einen Eingang Vin und einen Ausgang Vout auf. Der Eingang Vin wird einem Gate eines Treibertransistors Q1 zugeführt, und ein Lasttransistor Q2 ist mit dem Drain des Treibertransistors Q1 verbunden. Ein Drain des Lasttransistors Q2 ist an eine Versorgungsspannung Vdd angeschlossen, und die Source des Lasttransistors Q2 stellt den Ausgang Vout dar. Ein dem Eingang Vin zugeführtes Signal wird verstärkt und vom Ausgang Vout ausgegeben. Sämtliche Arten von Transistoren, beispielsweise ein Bipolartransistor und ein Feldeffekttransistor, können bei der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden, da die Art des Transistors nicht kritisch ist. Darüber hinaus kann ein Operationsverstärker den Verstärker der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung ersetzen.

[0066] Fig. 16 zeigt ein Beispiel für das Rückkopplungsnetzwerk 56, welches Widerstände der integrierten Entfernungsmessschaltung von Fig. 14 einsetzt. Das Rückkopplungsnetzwerk 56 weist Widerstände R1 und R2 auf. Ein Signal, welches dem Eingang Vin des Rückkopplungsnetzwerkes 56 zugeführt wird, wird abgeschwächt und bei Vout ausgegeben.

[0067] In Fig. 17 ist ein Beispiel für einen Fall gezeigt, in welchem die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem elektrischen Stift verwendet wird. Der elektrische Stift 1713 in Fig. 17 stellt die Position einer Positionserfassungsstange 1714 mit der integrierten Entfernungsmessschaltung fest. Der elektrische Stift 1713 ist mit der integrierten Entfernungsmessschaltung versehen, welche das leitfähige Material 1710 einer Metallplatte aufweist, die Positionserfassungsstange 1714, die sich in Axialrichtung bewegt, einen elastischen Körper 1715 zum elastischen Herunterdrücken der Positionserfassungsstange 1714 in dieser Figur, und den zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 171.

[0068] Die integrierte Entfernungsmessschaltung ist mit dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 171 versehen, welcher in dieser Figur nach unten zeigt. Das leitfähige Material 1710 ist an der Spitze der Positionserfassungsstange 1714 befestigt. Ein Teil des elastischen Körpers 1715 ist an die Positionserfassungsstange 1714 angeschlossen. Wenn auf die Positionserfassungsstange 1714 ein Druck einwirkt, und sie sich daher nach oben bewegt, verlängert sich der elastische Körper 1715 und zieht elastisch die Positionserfassungsstange 1714 nach unten. Wenn sich das leitfähige Material 1710 nach oben und unten bewegt,

ändert sich die Entfernung zwischen dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 171 und dem leitfähigen Material 1710. Daher ändert sich die Frequenz f eines Oszillators 179, der in der integrierten Entfernungsmessschaltung vorgesehen ist. Der Druck, der in eine Änderung der Position nach oben oder unten in der Positionserfassungsstange 1714 durch den elastischen Körper 1715 umgewandelt wird, kann dadurch festgestellt werden, daß die Frequenz des Oszillators 179 durch den Frequenzzähler gemessen wird, der innerhalb oder außerhalb der integrierten Entfernungsmessschaltung vorgesehen ist. Aus diesem Grund kann der elektrische Stift 1713 einen Stiftdruck feststellen, nämlich durch Messung des Drucks, der auf die Positionserfassungsstange 1714 einwirkt. Sowohl der Stiftdruck als auch die Stiftverfolgungstrajektorie können daher unter Verwendung des elektrischen Stiftes 1713 mit einem Positionsdigitalisierer festgestellt werden.

[0069] Die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung dient zu dem Zweck die Entfernung zu messen. Wie in Fig. 17 gezeigt ist, kann die integrierte Entfernungsmessschaltung jedoch auch einen Druck messen, über den elastischen Körper 1715, infolge einer einfachen Umwandlung einer Verschiebung in einen Druck. Eine Feder und ein Gummistück stellen praktische Beispiele für den elastischen Körper 1715 dar.

[0070] Fig. 18 zeigt ein Schaltbild der integrierten Entfernungsmessschaltung, die in dem elektrischen Stift aufgenommen ist, der in Fig. 17 gezeigt ist. Bei der in diesem Schaltbild dargestellten integrierten Entfernungsmessschaltung sind der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor 171 und der diskrete Kondensator 174 in Reihe geschaltet, um eine LC-Schaltung 178 auszubilden. Das Ausgangssignal der LC-Schaltung 178 wird dem Rückkopplungsnetzwerk 176 zugeführt. Das Rückkopplungsnetzwerk 176 umfaßt die Widerstände R1 und R2. Das Ausgangssignal des Rückkopplungsnetzwerkes 178 wird von dem Verstärker 175 verstärkt, und positiv rückgekoppelt. Die Anschlußklemme für negative Rückkopplung des Verstärkers 175 ist über einen Widerstand R3 an Masse gelegt. Das Ausgangssignal des Verstärkers 175 wird dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 171 hinzuaddiert.

[0071] Fig. 19 zeigt ein Blockschaltbild für einen Fall, in welchem die Position der Positionserfassungsstange 1714, die in dem elektrischen Stift 1713 in Fig. 17 aufgenommen ist, dadurch festgestellt wird, daß die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß Fig. 18 eingesetzt wird. Das Blockschaltbild enthält den Oszillator 179, den Frequenzzähler 177, einen Pufferspeicher 1716 und eine Steuerschaltung 1717. Wenn auf die Positionierfassungsstange 1714 des elektrischen Stiftes 1713 ein Druck einwirkt, und sie sich daher nach oben bewegt, ändert sich die Frequenz f des Oszillators 179, der in der integrierten Entfernungsmessschaltung aufgenommen ist. Die Frequenz f wird mit Hilfe des Frequenzzählers 177 gemessen, und die Meßdaten werden in den Pufferspeicher 1716 gespeichert. Der Frequenzzähler 177 und der Pufferspeicher 1716 werden über die Steuerschaltung 1717 gesteuert. Der Stiftdruck, der auf dem elektrischen Stift 1713 einwirkt, kann dadurch gemessen werden, daß die in dem Pufferspeicher 1716 gespeicherten Daten ausgelesen werden.

[0072] Fig. 20 zeigt ein Versuchsergebnis für den Einsatz der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung zur Feststellung der relativen Lage des zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktors und des leitfähigen Materials. Eine Trennentfernung, die von dem Bezugspunkt des leitfähigen Materials 1710 aus gemessen wird, wird durch das Bezugszeichen x bezeichnet, und ist durch folgende Gleichung definiert:

$$d + x = c$$

(wobei c eine Konstante ist); wenn daher die Trennentfernung x gegenüber dem Bezugspunkt zunimmt, verringert sich die Entfernung d . Die Beziehung zwischen der Trennentfernung x und der Frequenz f des Oszillators 179, der in der integrierten Entfernungsmessschaltung aufgenommen ist, ist in Fig. 20 dargestellt. Fig. 20 zeigt ein Versuchsergebnis in einem Fall, in welchem der Wert von c 1000 μm beträgt. Bei dem elektrischen Stift 1713 in Fig. 17 nimmt dann, wenn sich das leitfähige Material 1710 an den zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 171 dadurch annähert, dass ein Druck auf die Positionserfassungsstange 1714 ausgeübt wird, die Trennentfernung x zu, und die Entfernung d ab. Dies führt zu einer Erhöhung der Frequenz f des Oszillators 179. Wie aus Fig. 20 hervorgeht beträgt, wenn sich die Entfernung x von 0 auf 700 μm ändert, die Erhöhung der Frequenz des Oszillators 11,8 MHz, und daher beträgt die Auflösung des Zählerausgangswertes 11.800.000, ist also extrem groß.

[0073] In dem elektrischen Stift 1713 ändert sich daher das digitale Ausgangssignal der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung wesentlich, wenn sich die Position der Positionserfassungsstange 1714 nur geringfügig ändert. Die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung kann daher die Positionsverschiebung oder Druckänderung der Positionserfassungsstange 1714 mit hoher Empfindlichkeit feststellen.

[0074] Eine Filmdickenmesseinrichtung 2120, die in Fig. 21 dargestellt ist, wird nachstehend als zweite Anwendung der integrierten Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben. Das Filmdickenmessgerät 2120 dient dazu, die Dicke eines Dünnsfilms 2118 zu messen, beispielsweise eines Filmblattes, und zwar mit hoher Genauigkeit. Der zweidimensional ausgebildete ebene Induktor 211 der integrierten Schaltung wird in Berührung mit dem Dünnsfilm 2118 gebracht, der sich auf einem Metallständer 2119 als leitfähigem Material befindet. Die Entfernung zwischen dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 211 und dem Metallständer 2119 ist gleich der Dicke des Dünnsfilms 2118. Daher kann die Dicke des Dünnsfilms 2118 gemessen werden, da die Entfernung zwischen dem zweidimensional ausgebildeten ebenen Induktor 211 und dem Metallständer 2119 durch die Frequenzänderung des Oszillators 219 gemessen wird. Es läßt sich eine Auflösung von zumindest 10.000.000 bei einer 1 Sekunde dauernden Messung erzielen, da die verwendete Frequenz etwa 100 MHz beträgt. Darüber hinaus ist es einfach, den Filmdruck zu steuern, und die Meßdaten mit einem Computer zu verarbeiten, infolge des digitalen Ausgangssignals der Filmdickenmßeinrichtung 2120. Aus diesem Grund kann die integrierte Entfernungsmessschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung in der gesamten Industrie in weitem Ausmaß eingesetzt werden.

[0075] Die vorliegende Erfindung läßt sich in verschiedenen Ausführungsformen verwirklichen, ohne vom Wesen oder den wesentlichen Eigenschaften der Erfindung abzuweichen, und daher sind die vorliegenden Ausführungsformen als erläuternd, nicht jedoch als einschränkend zu verstehen, da sich der Umfang der vorliegenden Erfindung aus der Gesamtheit der vorliegenden Anmeldeunterlagen ergibt und von den beigefügten Patentansprüchen umfaßt sein soll.

Patentansprüche

1. Entfernungsmessschaltung, enthaltend:

- a) einen ebenen Induktor (41; 51; 101);
- b) einen Oszillator, der mit dem Induktor verbunden ist und dessen Frequenz sich gemäß einem Abstand eines gegenüber dem Induktor beabstandeten und leitfähigen Materials, zu dem die Entfernung gemessen werden soll, verändert;
- c) eine Auswerteschaltung zum Bestimmen der Frequenz des Oszillators;

dadurch gekennzeichnet, dass

- d) die Auswerteschaltung als integrierte Schaltung zusammen mit dem Oszillator in einem Gehäuse aufgenommen ist;
- e) der Induktor (101) in dem oberen Abschnitt des Gehäuses angeordnet ist, und
- f) die Abmessungen des Induktors (101) durch die Abmessungen des Gehäuses begrenzt sind.

2. Entfernungsmessschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz des Oszillators höher als 30 MHz ist.

3. Entfernungsmessschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Oszillator einen Operationsverstärker (175), einen Kondensator (174) und den ebenen Induktor (171) aufweist.

4. Entfernungsmessschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der ebene Induktor ein mäanderförmiger Induktor (51) ist.

5. Entfernungsmessschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der ebene Induktor ein spiralförmiger Induktor (31) ist.

6. Entfernungsmessschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anschlussklemme des ebenen Induktors an einen Anschlussstift (512) der integrierten Schaltung (52) angeschlossen ist.

7. Entfernungsmessschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein zweidimensional ausgebildeter ebener Induktor (51) auf einem Isolator (53) angeordnet ist, der auf der oberen Oberfläche des Gehäuses der integrierten Schaltung (52) vorgesehen ist.

8. Entfernungsmessschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche des ebenen Induktors (101) von einem Isolator (103) abgedeckt ist.

9. Entfernungsmessschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die integrierte Entfernungsmessschaltung mit einem Frequenzzähler (57) zur Feststellung der Frequenz des Oszillators und zur Ausgabe von Digitalsignalen versehen ist.

10. Entfernungsmessschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Oszillator mit einem Verstärker (55) und einem Rückkopplungsnetzwerk (56) zum Rückkoppeln eines Ausgangssignals des Verstärkers versehen ist.

11. Entfernungsmessschaltung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Rückkopplungsnetzwerk Widerstände (R_1 , R_2) vorgesehen sind.

12. Entfernungsmessschaltung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Verstärker einen Transistor (Q_1) aufweist.

Hierzu 16 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

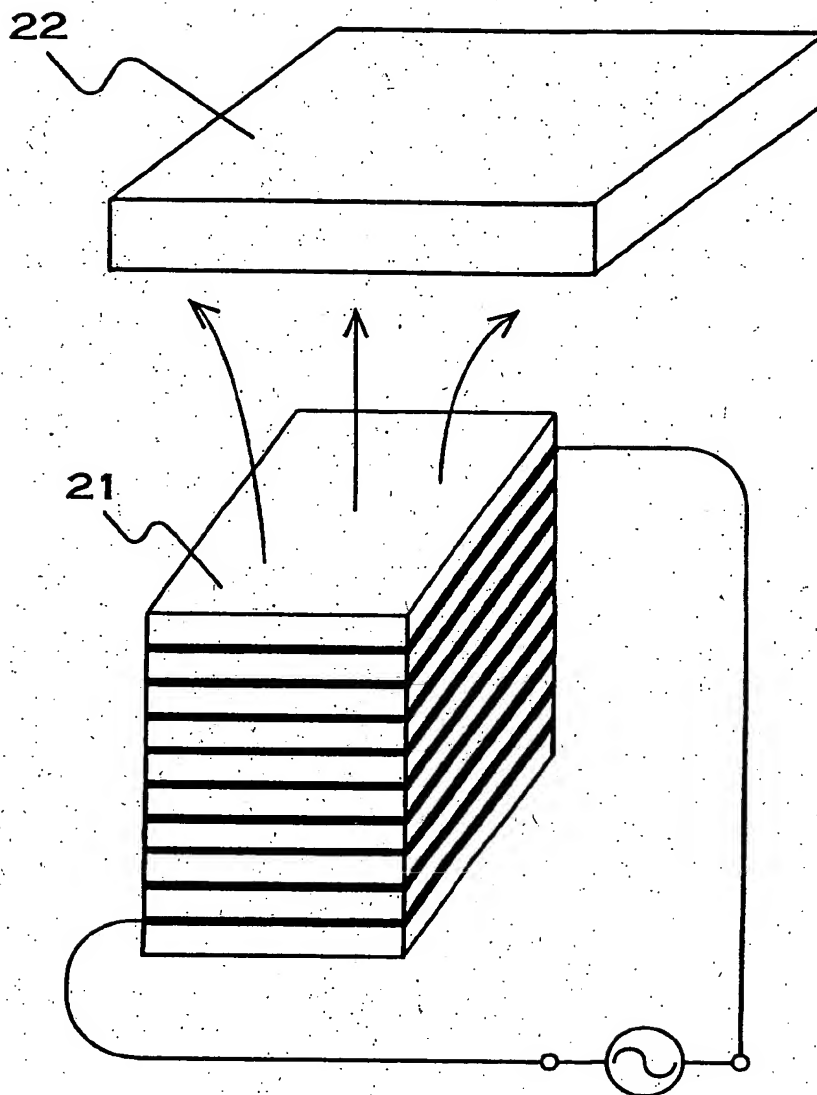


FIG. 2

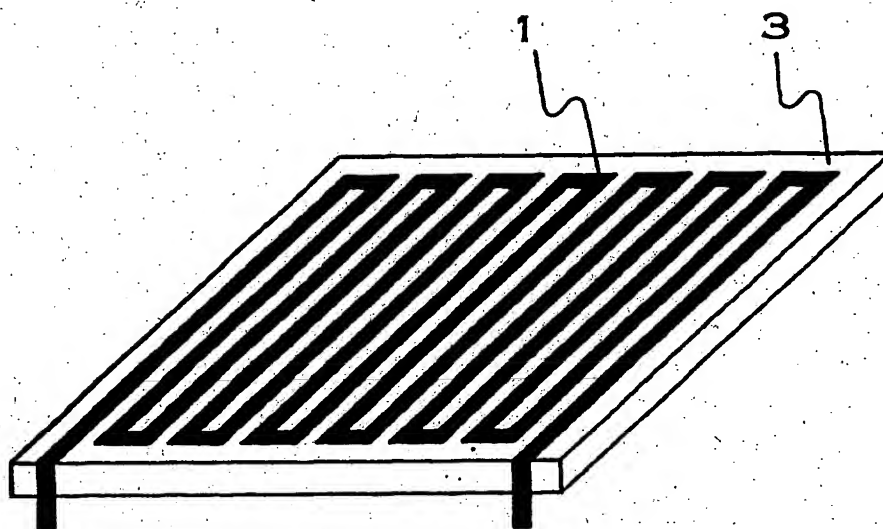


FIG. 3

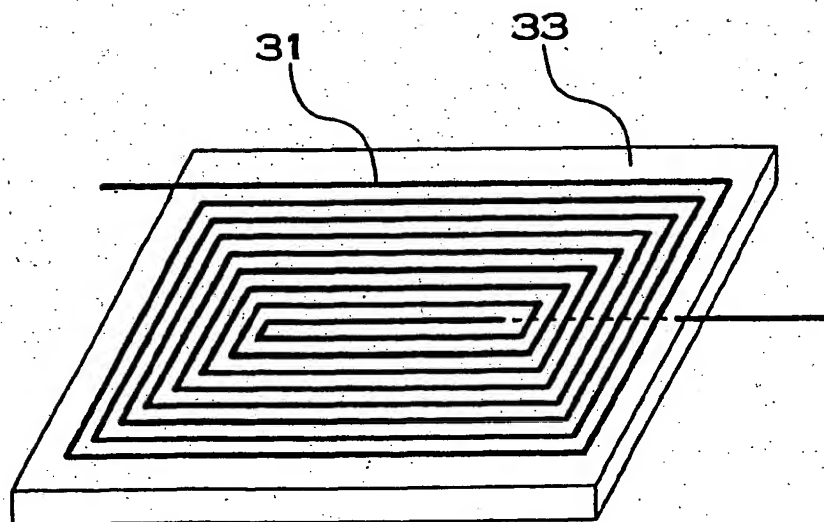


FIG. 4

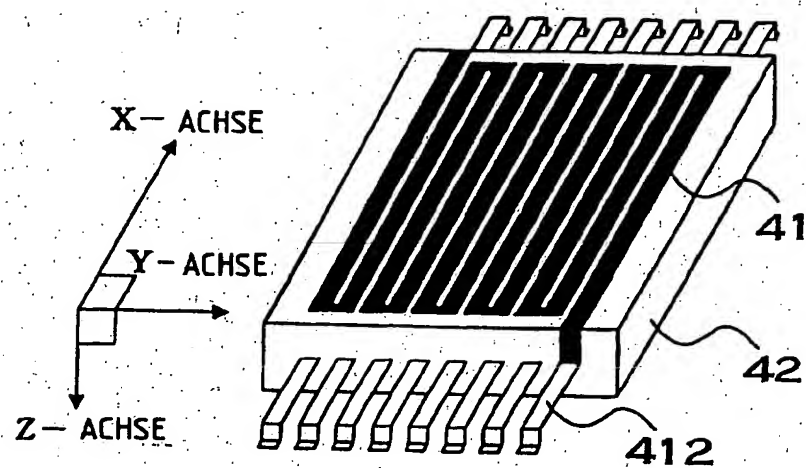


FIG. 5

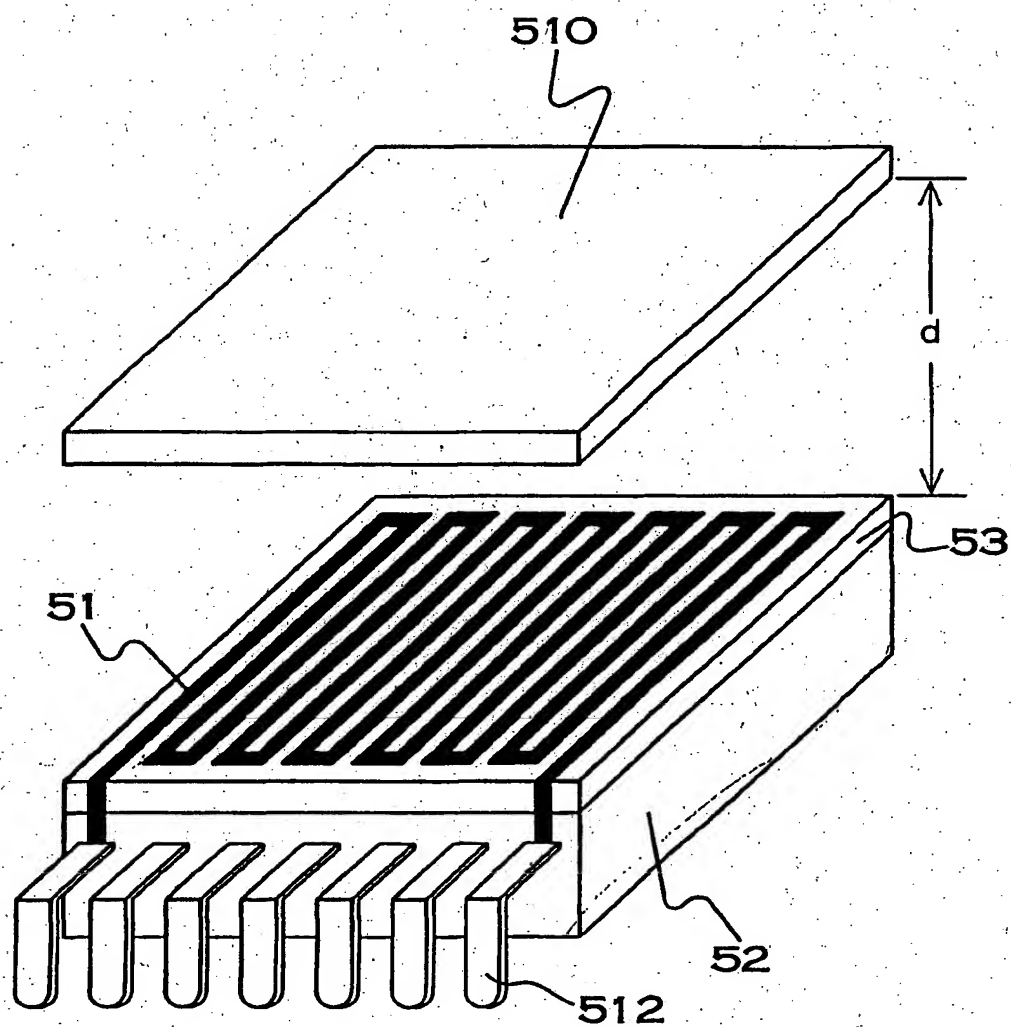


FIG. 6

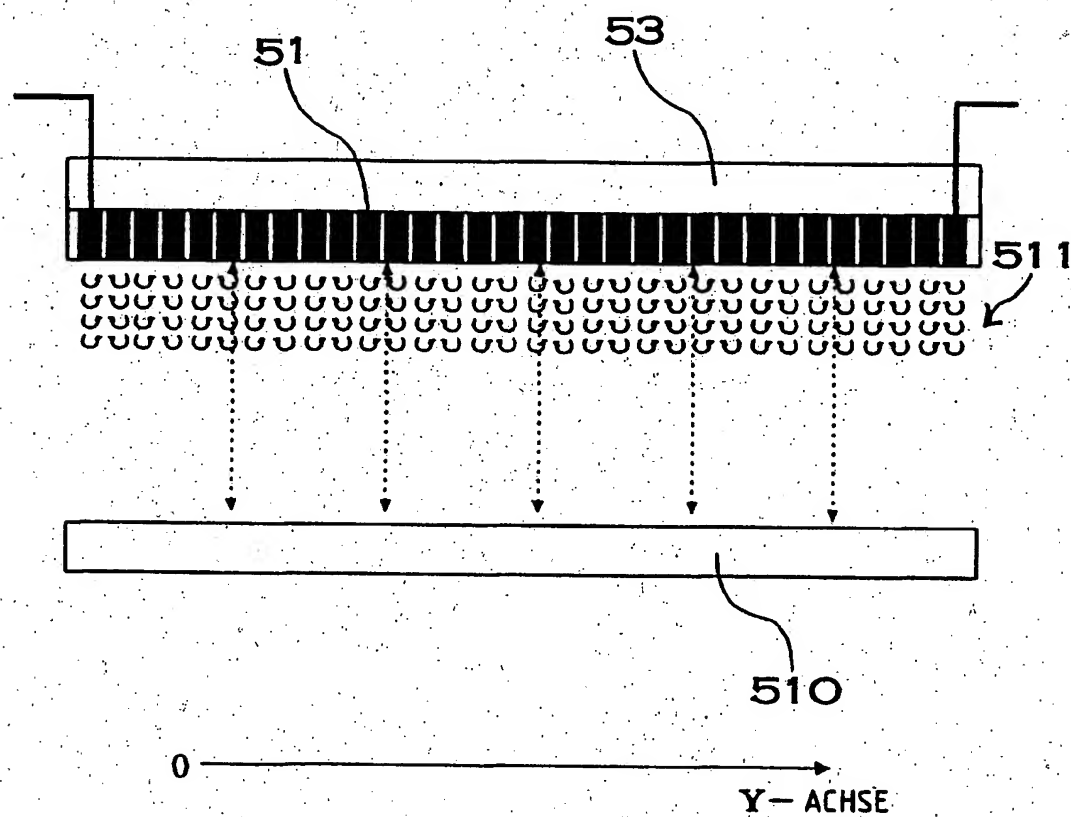


FIG. 7

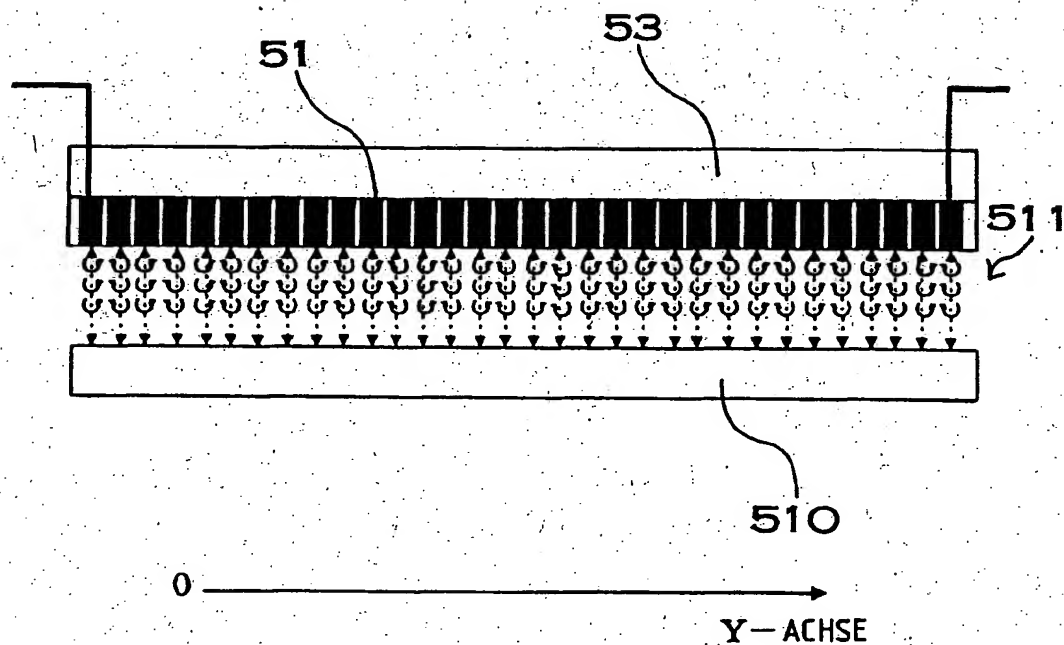


FIG. 8

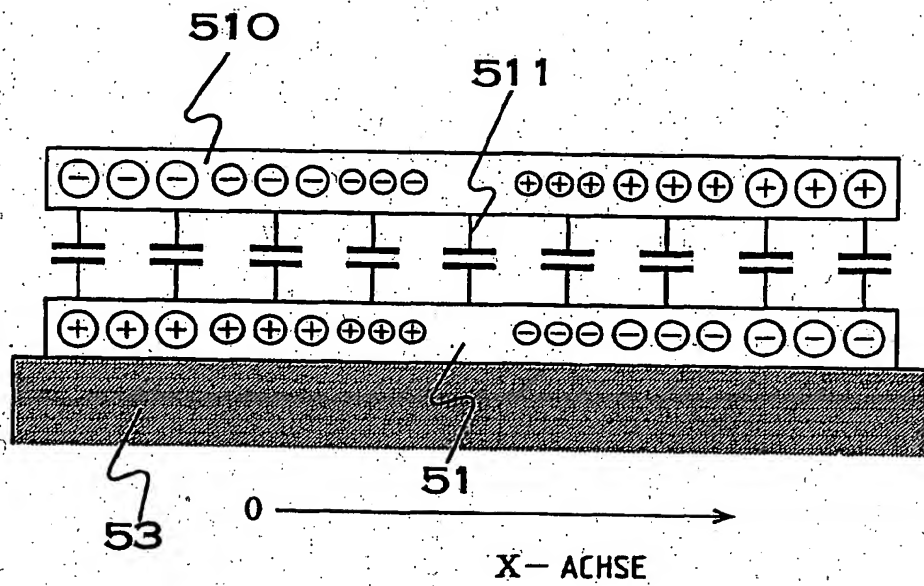


FIG. 9

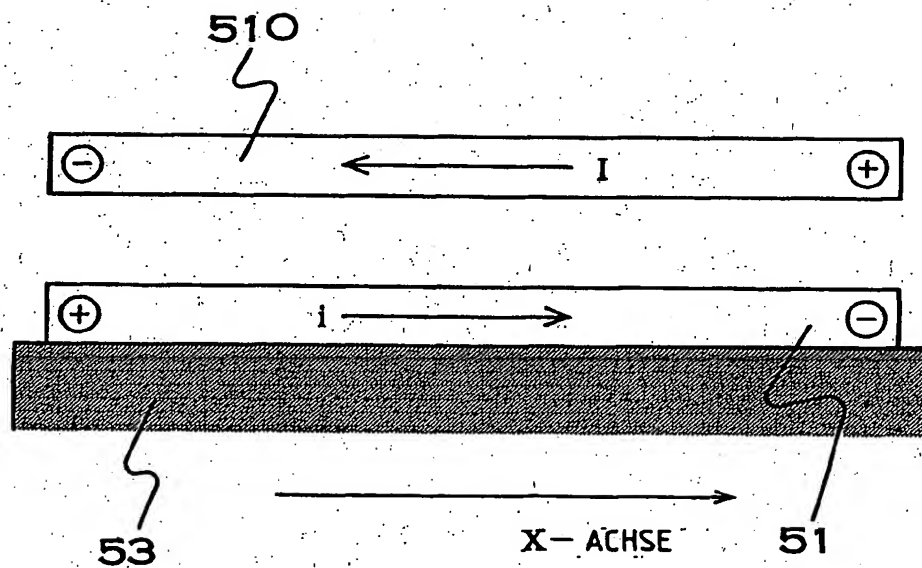


FIG. 10

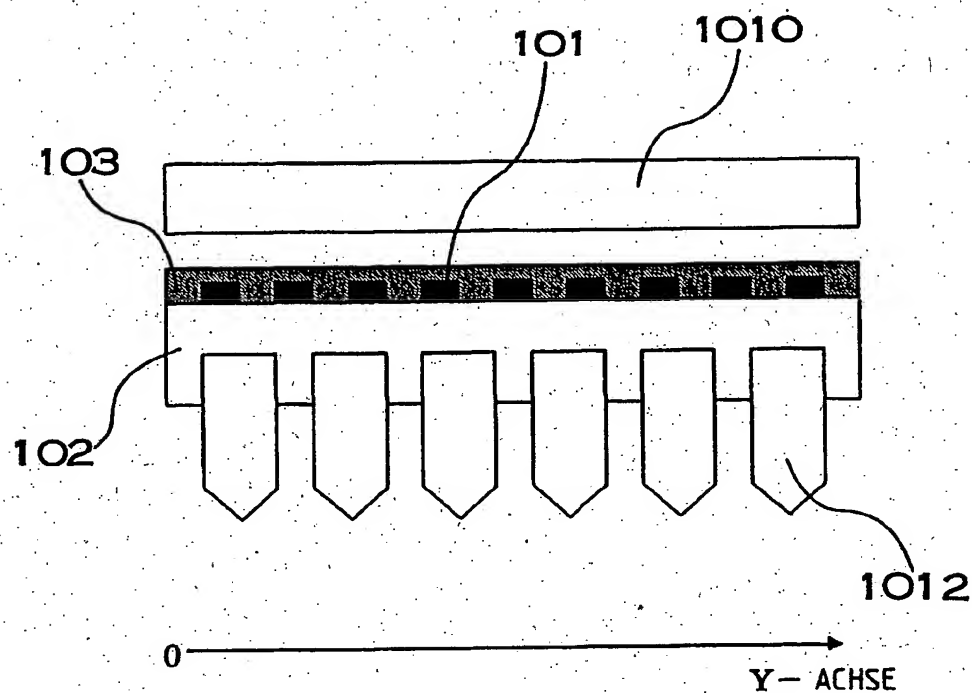


FIG. 11

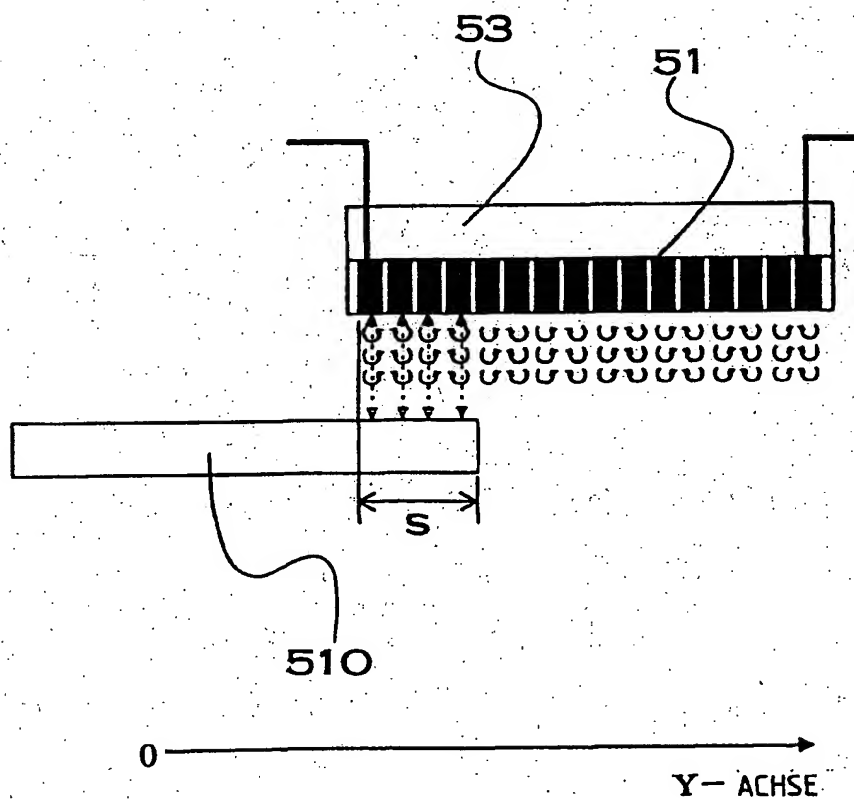


FIG. 12

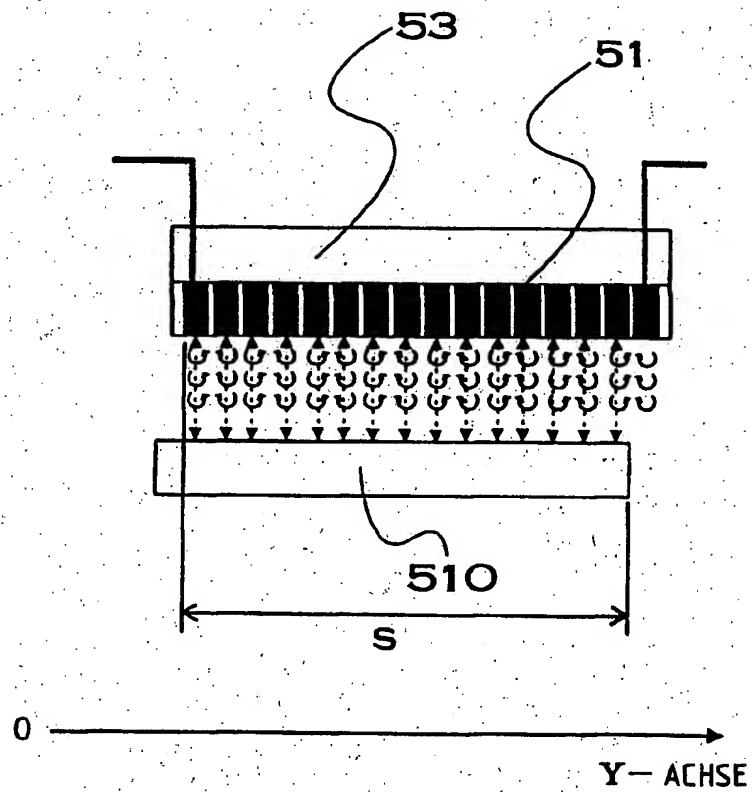


FIG. 13

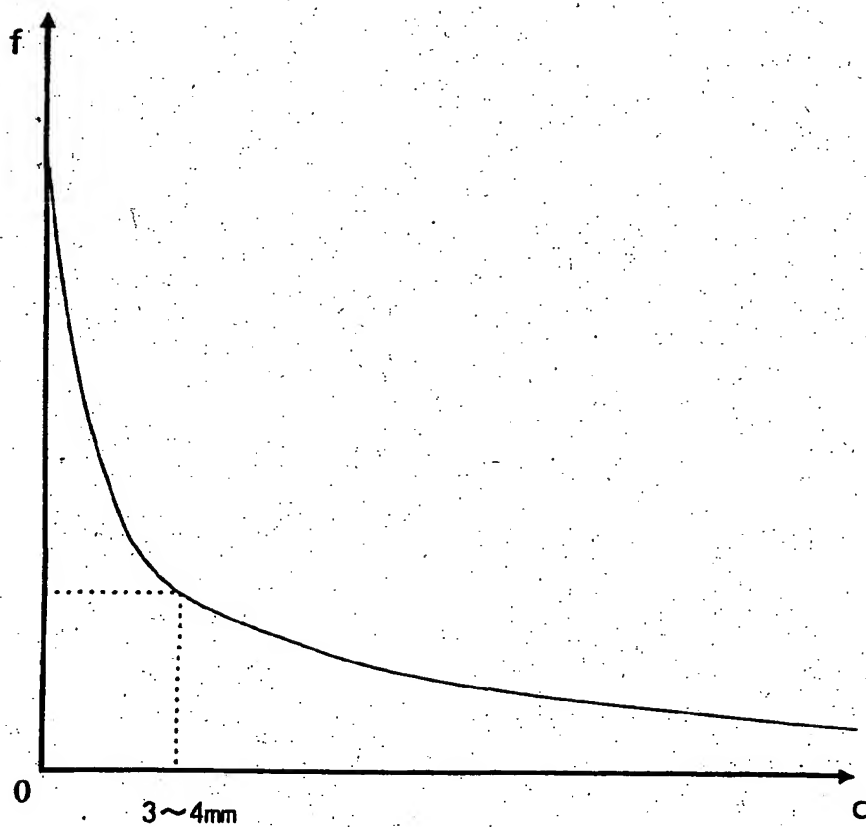


FIG. 14

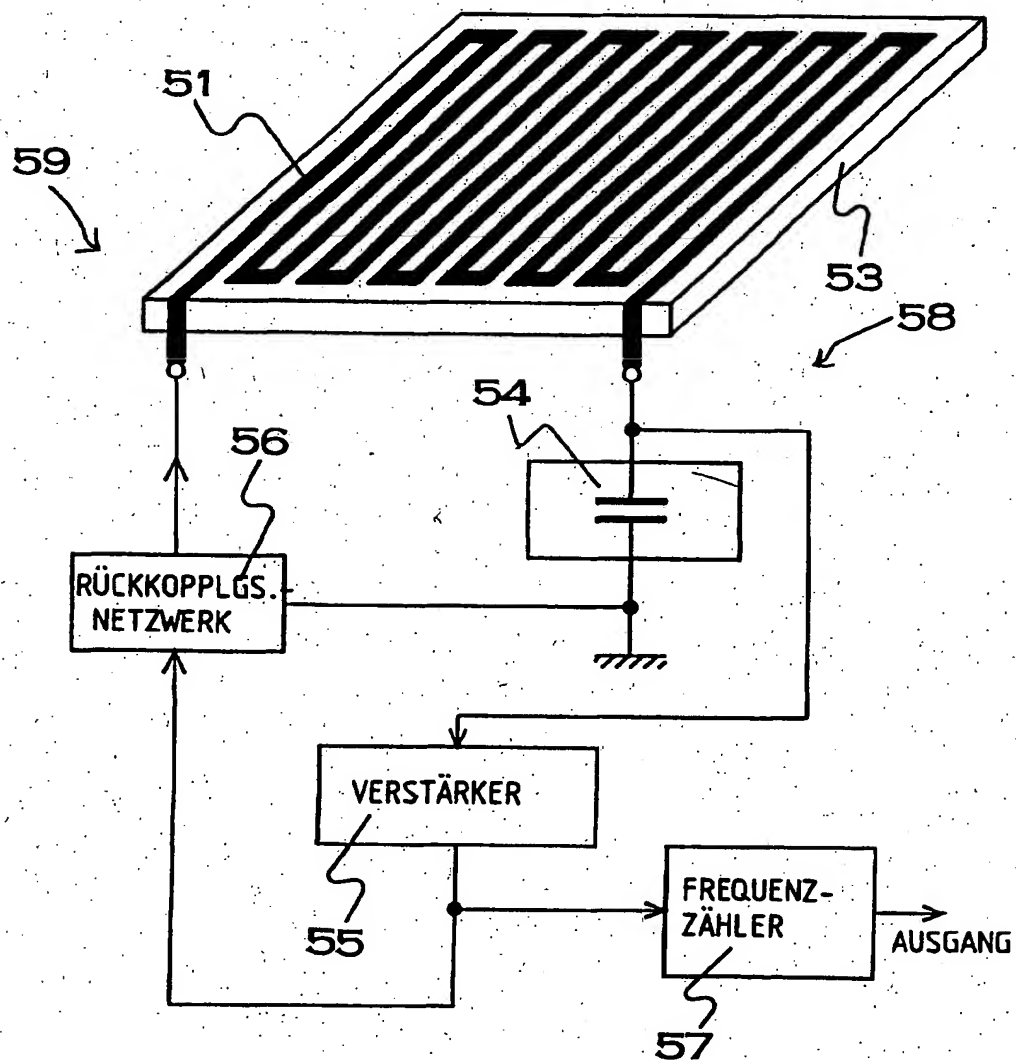


FIG. 15

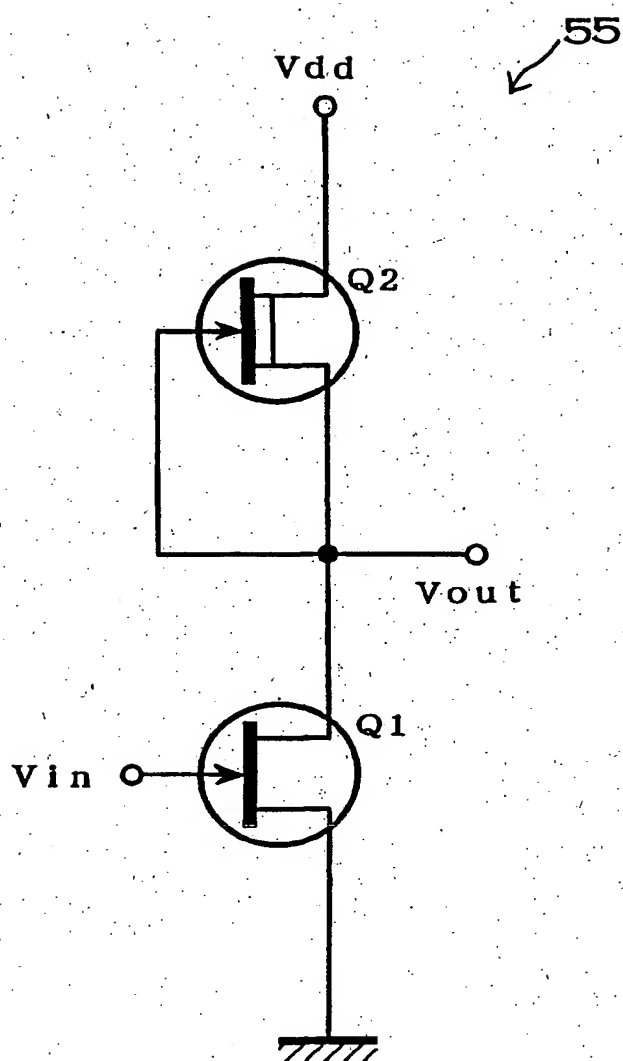


FIG. 16

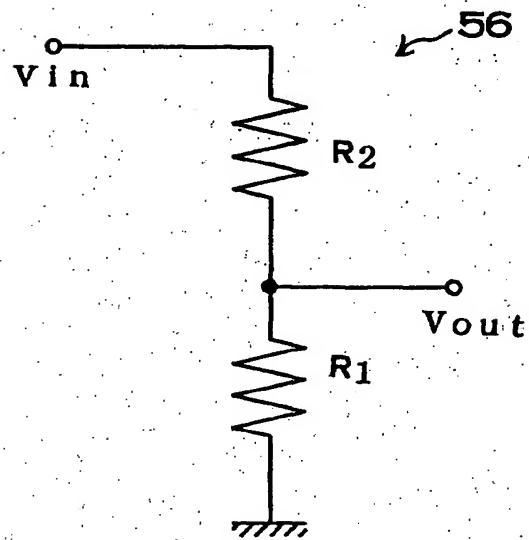


FIG. 17

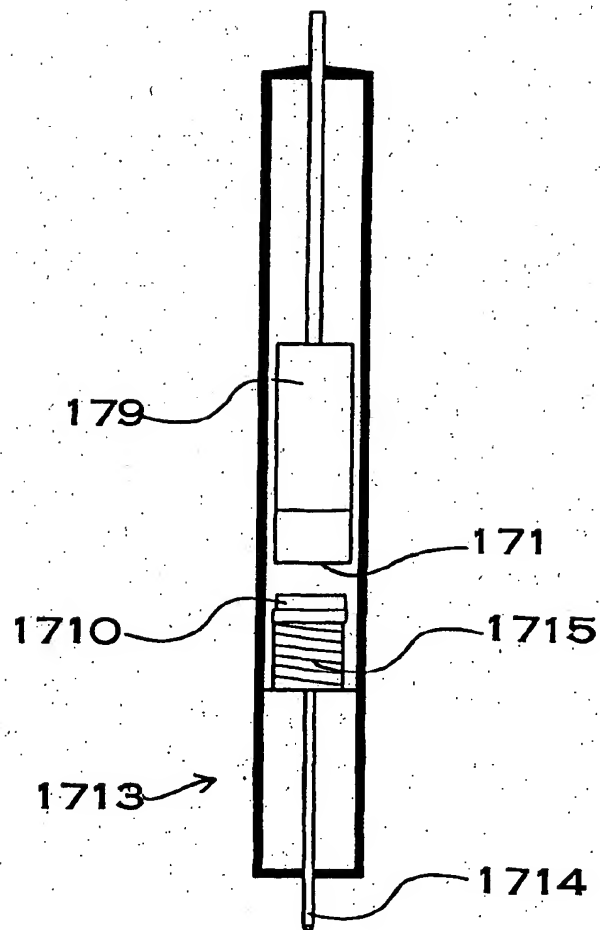


FIG. 18

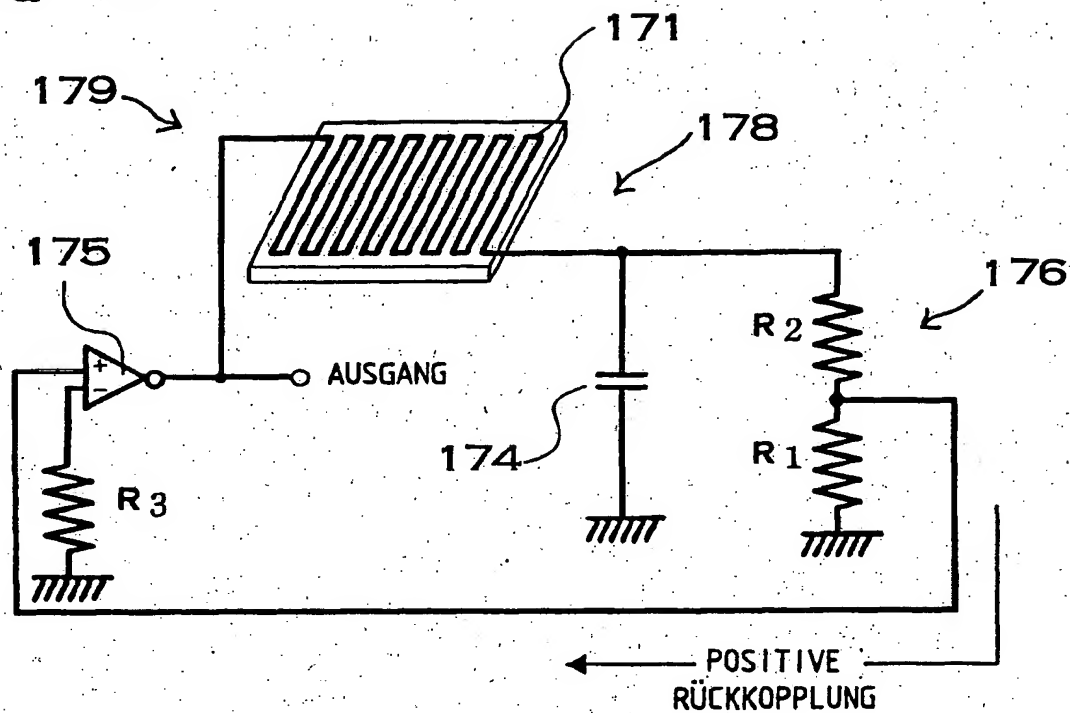


FIG. 19

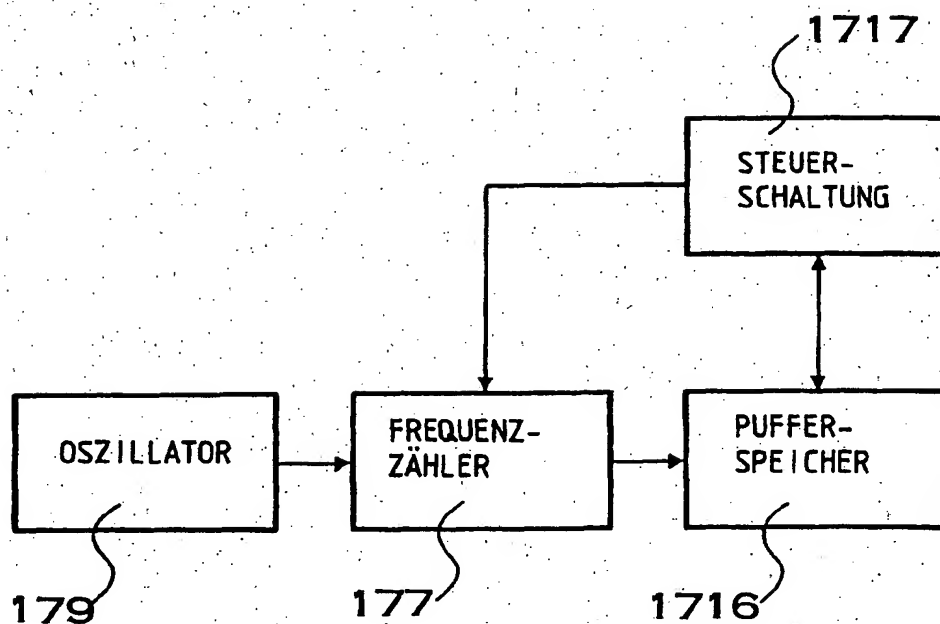


FIG. 20

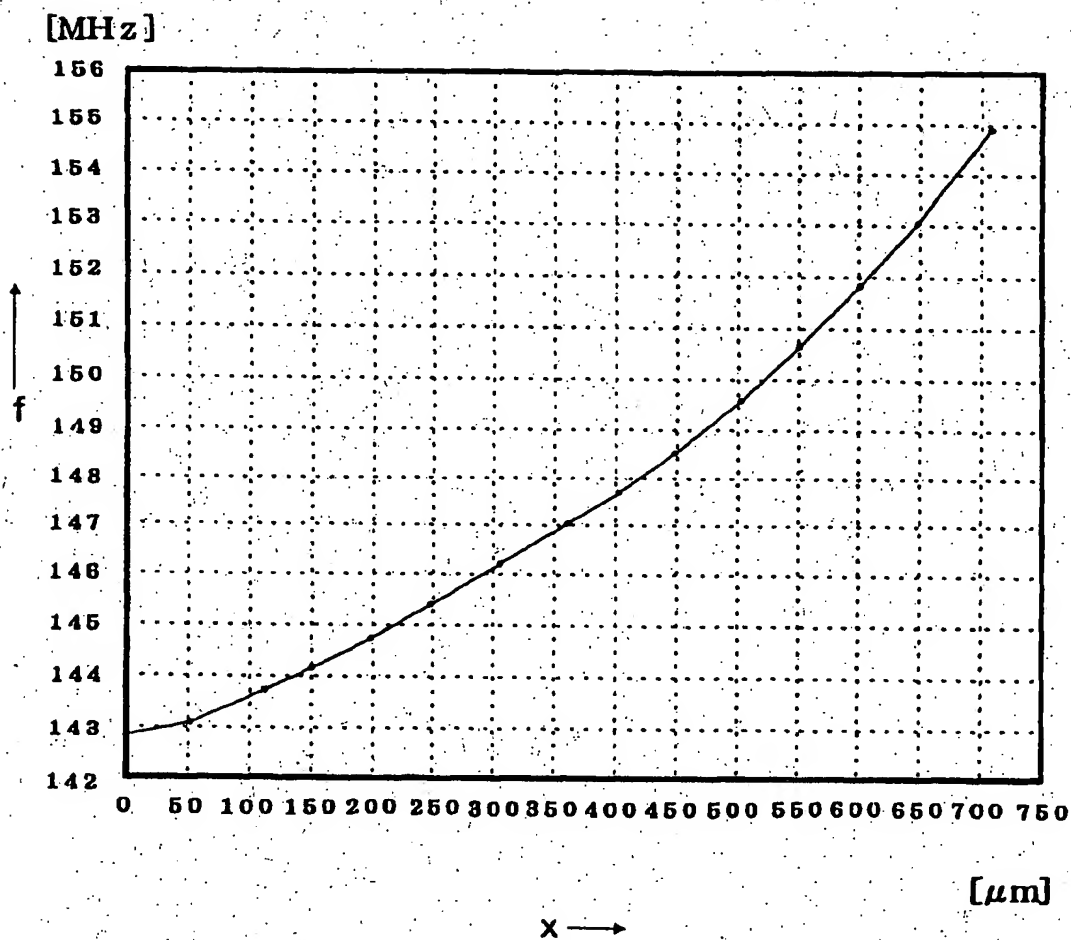
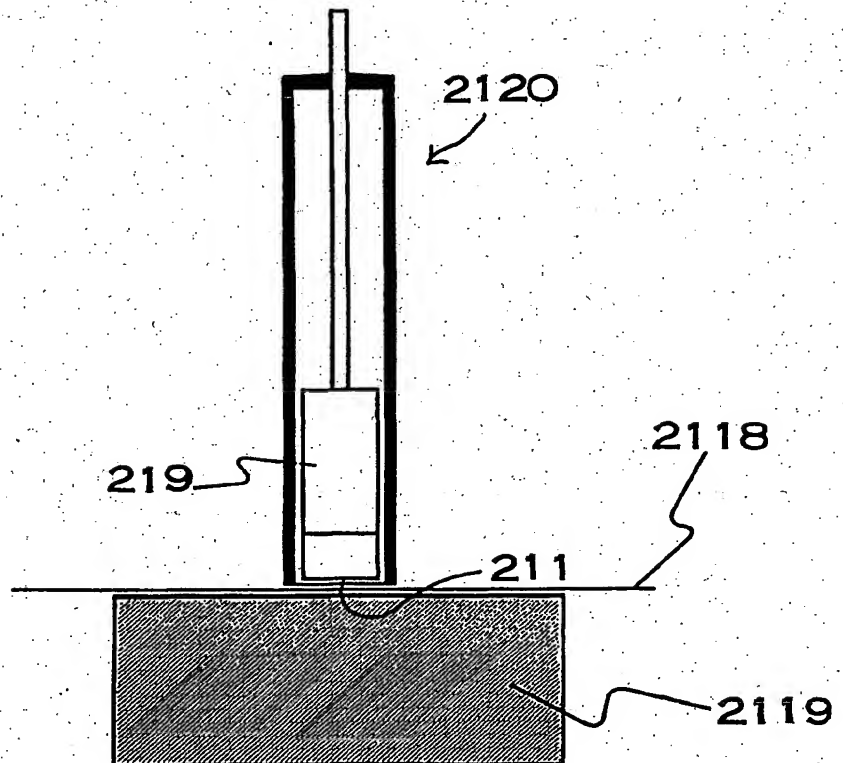


FIG. 21



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)